

东南大学电工电子实验中心

实 验 报 告

课程名称： 电路实验

第 4 次实验

实验名称： 交流电路认识及参数测试

院（系）： 电气工程学院 专 业： 电气工程及其自动化

姓 名： 王皓冬 学 号： 16022627

实 验 室： 208 室 实验组别：

同组人员： 李烨凡 实验时间： 2023 年 11 月 27 日

评定成绩： 审阅教师：

一、实验目的

- (1) 了解交流电基础知识及电器设备使用操作方法
- (2) 掌握电阻、电感、电容等单相交流电路参数测量方法，通过实验加深对阻抗概念的理解
- (3) 掌握多功能表测量电压、电流、功率以及单相自耦调压器的正确使用方法
- (4) 掌握功率因数的测量及其改变方法

二、实验原理（预习报告内容，如无，则简述相关的理论知识点。）

(1) 查找资料，了解交流电安全用电知识；

电气危害有两个方面：一方面是对系统自身的危害,如短路、过电压、绝缘老化等;另一方面是对用电设备、环境和人员的危害,如触电、电气火灾、电压异常升高造成用电设备损坏等，其中尤以触电和电气火灾危害最为严重。触电它可直接导致人员伤亡、死亡。另外，静电产生的危害也不能忽视，它是电气火灾的原因之一，对电子设备的危害也很大。

低电压高电压：一般多以对低电压 250V 作为划分交流电高、低压的界限。凡设备对地电压大于 250V 者称为高电压，如 10kV、35kV 等。凡对地电压为 250V 以下者称为低电压，如 220V。

安全电压：为防止触电事故而采用的由特定电源供电的电压系列。这个电压系列的上限值，在任何情况下，两导体间或任一导体与地之间均不得超过交流 50-500Hz 有效值 50V。

(2) 了解电阻、电感、电容、功率因数等单相交流电路参数测量方法。

对于交流电路中的元件阻抗值（ r 、 L 、 C ），可以用交流阻抗电桥直接测量，也可用下面的两种方法来进行测量。

1) 三电压表法

先将一已知电阻 R 与被测元件 Z 串联，如下图 1(a) 所示， Z_1 是由 10Ω 电阻和未知电感串联组成， Z_2 是由 100Ω 电阻和未知电容串联组成，当通过一已知频率的正弦交流信号时，用电压表分别测出电压 U 、 U_1 和 U_2 ，然后根据这三个电压向量构成的三角形矢量图和 U_2 分解的直角三角形矢量图，从中可以求出元件阻抗参数，如下图 1(b) 所示。这种方法称为三电压表法。

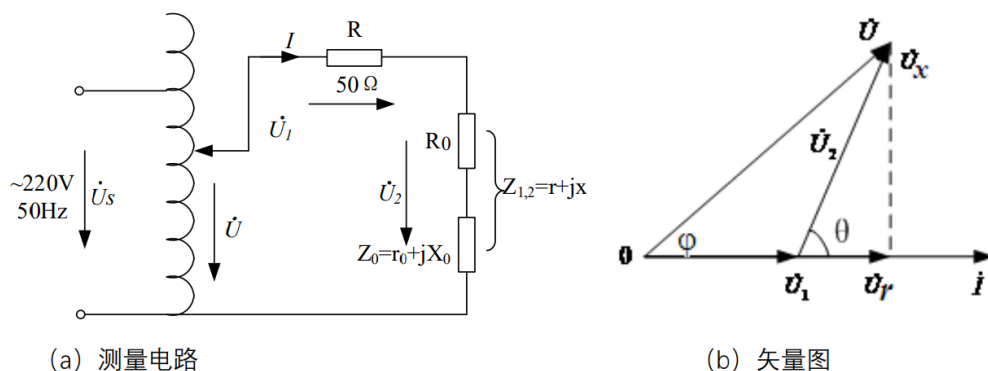


图 1 三电压表法

由矢量图可得：

$$\cos\theta = \frac{U^2 - U_1^2 - U_2^2}{2U_1U_2}, \quad U_r = U_2 \cos\theta, \quad U_x = U_2 \sin\theta$$

$$r = \frac{RU_r}{U_1}, \quad L = \frac{RU_x}{\omega U_1}, \quad C = \frac{U_1}{\omega RU_x}$$

$$\cos\varphi = \frac{U_1 + U_r}{U} = \frac{U_1 + U_2 \cos\theta}{U}$$

2) 三表法（电压表、电流表、功率表）

如图 2 所示，用交流电压表、交流电流表和功率表（本实验平台为三表合一多功能表）分别测出元件 Z 两端电压 U、电流 I 和消耗的有功功率 P，并且根据电源角频率 ω ，然后通过计算公式间接求得阻抗参数。这种测量方法称为三表法。

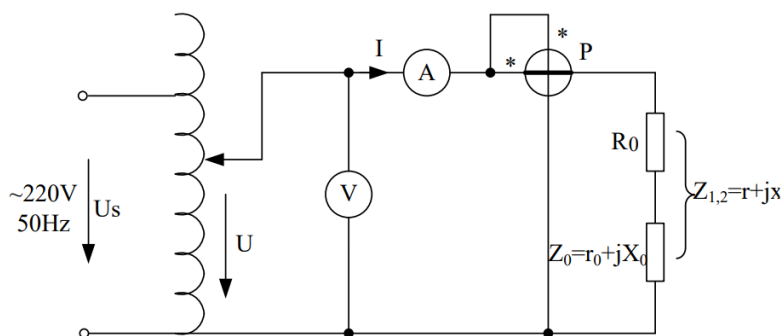


图 2 三表法测量电路

被测元件阻抗参数（r、L、C）可以由下列公式确定：

$$z = \frac{U}{I}, \quad \cos\varphi = \frac{P}{UI}, \quad r = \frac{P}{I^2} = z \cos\varphi$$

$$X = \sqrt{z^2 - r^2} = z \sin\varphi, \quad L = \frac{X_L}{\omega}, \quad C = \frac{1}{X_C \omega}$$

(3) 理论计算分析实验内容 (3) 中 Z1+Z2 (Z1 串联 Z2)、Z1//Z2 (Z1 并联 Z2) 时，电路的性质（容性电路还是感性电路）。

串联的已知电阻为 50Ω，Z1=10Ω+L（114mH）（208 室为 Z1=10Ω+L（40mH）

(1000 匝), $Z_2=100\ \Omega +C\ (10\mu F)$

电感感抗与电容容抗计算公式:

$$\begin{cases} X_C = \frac{1}{\omega C} \\ X_L = \omega L \end{cases}$$

代入数值得: (ω 取工频 50Hz)

$$\begin{cases} X_C = 318.31\ \Omega \\ X_L = 12.57\ \Omega \end{cases}$$

故阻抗

$$\begin{cases} Z_1 = 10 + j12.57\ \Omega \\ Z_2 = 100 - j318.31\ \Omega \end{cases}$$

串联时

$$Im[Z_{eq}] = -j305.74\ \Omega$$

为容性; 并联时

$$Z_{eq} = \frac{Z_1 Z_2}{110 - j305.74}\ \Omega$$

分母有理化后分子:

$$\begin{aligned} Z_1 Z_2 (110 + j305.74) &= (5001.16 - j1926.1)(110 + j305.74), \\ Im[(5001.16 - j1926.1)(110 + j305.74)] \\ &= j1317.18 > j0 \end{aligned}$$

故为感性。

(4) 复习功率因数概念, 试列出负载功率因数改变(提高、减小)的方法。

功率因数: 定义为 $\lambda = \cos \psi \leq 1$, ψ 称为功率因数角(不含独立源的一端口的阻抗角)。它是衡量传输电能效果的一个非常重要的指标, 表示传输系统有功功率所占的比例, 即 $\lambda = P/S$ 。

工程上功率因数低带来的问题:

设备不能充分利用, 电流到了额定值, 但功率容量还有;
当输出相同的有功功率时, 线路上电流大, 线路压降损耗大。

解决办法:

- (1) 高压传输
- (2) 改进自身设备
- (3) (感性电路) 并联电容, 提高功率因数(并联电容后, 原负载的电压和电流不变, 吸收的有功功率不变, 但是电源向负载输送的无功减少了, 减少了的这部分无功由电容来补偿, 使感性负载吸收的无功功率不变, 而功率因数得到增加。)

原电路属性	提高	减小
容性	并联电感	并联电容
	增大负载	减小负载
	去除原电容	/
感性	并联电容	并联电感
	增大负载	减小负载
	去除原电感	/

三、实验内容

- (1) 单相、三相交流电路的接线操作，按照强电实验操作规范接线、通电、操作：包括开关、熔断器、自耦变压器等电器设备结构原理的理解和使用方法。
- (2) 三电压表法测量电路参数（验收）

测量电路如图 1 所示，串联的已知电阻为 $50\ \Omega$ ， $Z_1=10\ \Omega+L$ （114mH）（208 室为 $Z_1=10\ \Omega+L$ （40mH）（1000 匝）， $Z_2=100\ \Omega+C$ （10uF），按表 1 内容测量和计算分析。

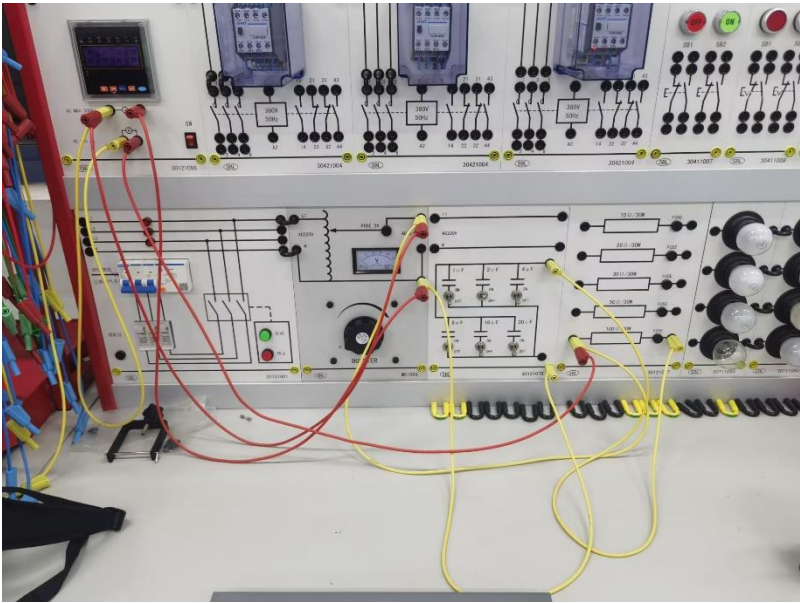


图 1 电路参数的测量
表 1 三电压表法

Z	测量参数			计算参数					
	U(V)	U ₁ (V)	U ₂ (V)	cos θ	U _r (V)	U _x (V)	r ₀ (Ω)	L(mH)	C(μ F)
Z1	60	42.2	19.1	0.837	15.987	10.452	18.942	38.9	/
Z2	60	8.0	56.7	0.354	20.072	53.028	125.45	/	9.479

计算得， $L=38.9\text{mH}$ ， $C=9.5\ \mu\text{F}$ ，与理论值 $L=40\text{mH}$ ， $C=10\ \mu\text{F}$ 较为接近。

(3) 三表法测量电路参数（验收）

测量电路如图 2 所示， $Z_1=10\ \Omega+L$ （114mH（208 室为 $Z_1=10\ \Omega+L$ （40mH））， $Z_2=100\ \Omega+C$ （10uF），测量数据记入下表中。表中， Z_1+Z_2 ， $Z_1//Z_2$ 时，需要先判别电路的性质，然后进行相关参数的计算。

表 2 三电表法

Z	测量参数			计算参数					
	I(A)	U(V)	P(W)	Z(Ω)	cos φ	R ₀ (Ω)	X(Ω)	L(mH)	C(μ F)
Z1	0.3	6.4	1.7	21.3	0.885	18.889	9.625	40.6	/
Z2	0.3	97.2	9.2	324.0	0.315	102.22	307.452	/	10.35
Z1+Z2	0.3	95.5	11.0	318.3	0.384	122.22	293.93	/	10.83
Z1//Z2	0.3	6.3	1.8	21.0	0.952	20.00	6.1003	30.5	/

计算得, $L=40.6\text{mH}$, $C=10.35\ \mu\text{F}$, 与理论值 $L=40\text{mH}$, $C=10\ \mu\text{F}$ 较为接近。

Z_1Z_2 串联时, 复阻抗虚部减小, 实部增大。其理论值为 $110 - j305.74\Omega$, 理论值的模为 324.93Ω , 相对理论值误差为 2.04%, 与结果较为接近。

Z_1Z_2 并联时, 等效阻抗应略小于 Z_1 , 观察数据发现, 数据符合预期。

(4) 功率因数的改变(验收)

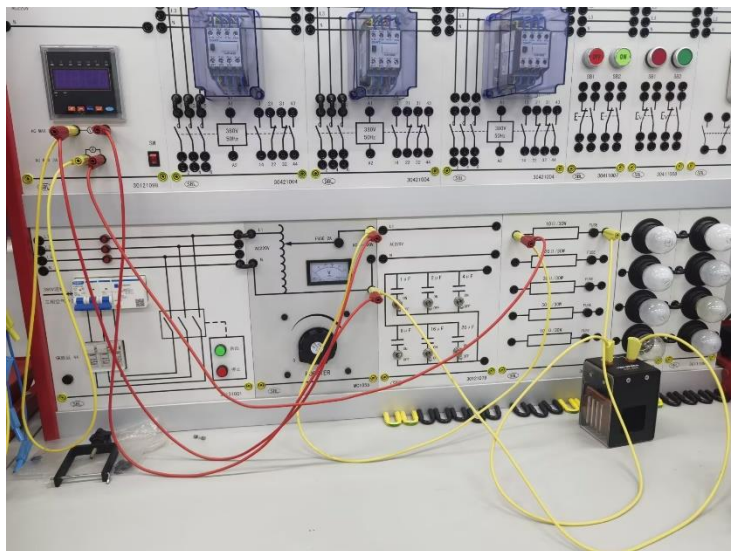


图 2 功率因数的改变

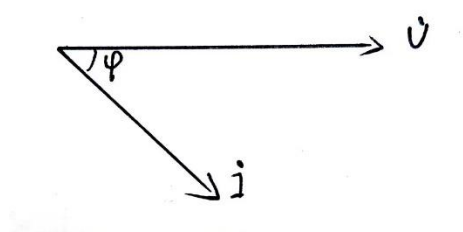
根据表 2 测得的 Z_1 (R、L 电路) 的功率因数 $\cos\phi$ 值为参照, 试采用不同方法改变功率因数。

1) 仍按图 2 接线, 选取电容并联在负载 Z_1 两端。首先调节单相自耦调压器, 使副方电压等于表 2 中负载为 Z_1 时对应的电压值, 然后测出 I 、 P , 计算 $\cos\phi$, 将实验数据填入表 3 中, 与不接电容前的负载功率因数相比较, 进行总结分析。

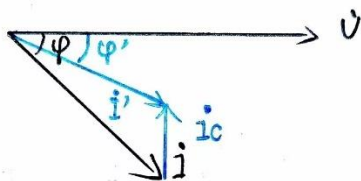
表 3 功率因数的改变-1

改变方法	测量参数			计算参数
	$I(\text{mA})$	$U(\text{V})$	$P(\text{W})$	$\cos\phi$
并联电容 1($2\ \mu\text{F}$)	0.304	6.4	1.8	0.925
并联电容 2($8\ \mu\text{F}$)	0.296	6.4	1.8	0.950

以输入电压为参考相量, 原电压电流相量关系如图:



图中, \dot{U} 为输入电压相量, \dot{i} 为电流相量, 功率角为 ϕ 。并联电容后, 电容支路的电流相量超前 $\dot{U} \frac{\pi}{2}$ 相位, 记为 \dot{I}_C , 干路电流记为 \dot{I}' :



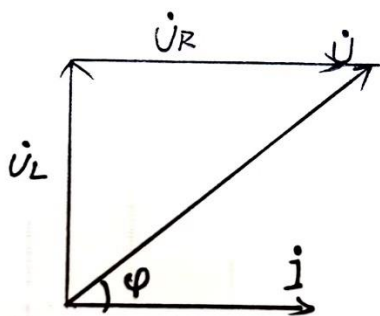
因此，并联电容时，功率角 φ 减小，功率因数增大。且分析数据可知，一定范围内，并联的电容越大，电路功率因数越大。其中，“一定范围内”的表述在思考题中给出论述。

2) 仍按图 2 接线，将电感线圈中插入铁芯，调节调压器，观察电流表读数保持在 0.3A。完成表 4。与未插入铁芯时数据比较，结合表格数据，总结分析功率因数改变的原因。

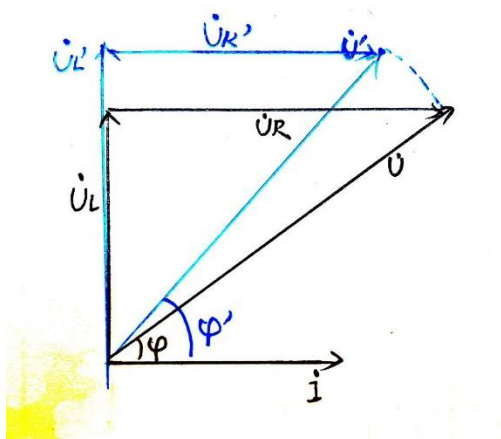
表 4 功率因数的改变-2

改变方法	测量参数			计算参数
	I(A)	U(V)	P(W)	$\cos\varphi$
铁芯部分插入	0.3	9.0	1.8	0.667
铁芯全部插入	0.3	22.4	1.8	0.268

以干路电流为参考相量，原电压电流相量关系如图：



图中， \dot{U} 为输入电压相量， i 为电流相量，功率角为 φ 。 \dot{U}_R 为电阻分压相量， \dot{U}_L 为电感分压相量，二者相互垂直，相量合成为 \dot{U} 。插入铁芯后，电感 L 增大，其分压 \dot{U}_L 增大为 \dot{U}_L' 。此时的输入电压相量记为 \dot{U}' ，其模应与原输入电压相量 \dot{U} 相同，据此作图如下：



因此，插入铁芯时，功率角 φ 增大，功率因数减小。且分析数据可知，一定范围内，插入的铁芯越多，电感越大，电路功率因数越小。

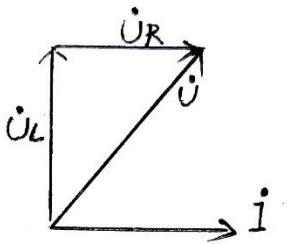
3) 仍按图 2 接线，改变 Z1 中串联的电阻阻值，调节调压器，观察电流表读数

保持在 0.3A。完成表 4。与原数据比较，结合表格数据，进行分析总结。

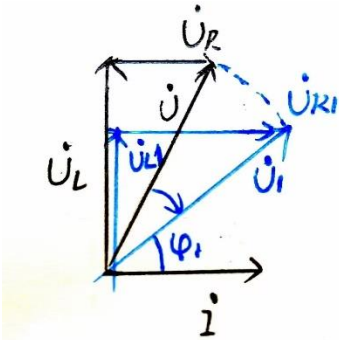
表 5 功率因数的改变-3

改变方法	测量参数			计算参数
	I(A)	U(V)	P(W)	$\cos\varphi$
Z1 中电阻值增大	0.3	52.7	14.9	0.942
Z1 中电阻值减小	0.3	37.2	9.3	0.833

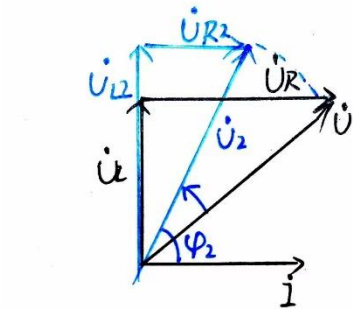
以干路电流为参考相量，原电压电流相量关系如图：



图中， \dot{U} 为输入电压相量， i 为电流相量，功率角为 φ 。 \dot{U}_R 为电阻分压相量， \dot{U}_L 为电感分压相量，二者相互垂直，相量合成为 \dot{U} 。阻值增大后，其分压 \dot{U}_R 增大为 \dot{U}_{R1} 。此时的输入电压相量记为 \dot{U}_1 ，其模应与原输入电压相量 \dot{U} 相同，据此作图如下：



同理，阻值减小后，其分压 \dot{U}_R 减小为 \dot{U}_{R2} 。此时的输入电压相量记为 \dot{U}_2 ，其模应与原输入电压相量 \dot{U} 相同，据此作图如下：



因此，阻值增大，功率因数增大；阻值减小，功率因数减小。这表明其他条件不变的情况下，电路的有功功率完全由电阻决定，这与电容电感的元件特性是相符的：电容电感是非储能元件，并不会产生实际功率消耗。

四、实验总结

（实验出现的问题及解决方法、思考题（如有）、收获体会等）

这次实验中出现的主要问题是对于实验相关操作的熟悉度不够。对于强电实验的设备及

其操作较为陌生，使得实验的上手阶段花费了一定时间进行相关操作的学习与熟悉。

这次的实验也带来了一些收获。实验中，我与同组成员进行了合理的分工，使得实验进展较为顺利。在电路的搭接部分，在保证每次操作后断电并调节自耦变压器保证实验安全的前提下，我们尽可能快地进行了电路的搭接与相关参数的测量。在数据处理阶段，我们进行了分工合作，并且由于采用同一公式与数据进行计算器计算时仅需改变部分数据，我们利用这点高效地模块化进行了数据处理，并对所得数据的合理性进行了粗略的评估，使得实验较为成功。

思考题：

(1) “并联电容”可以提高感性阻抗的功率因数，使用矢量图来分析并联的电容容量是否越大越好？

电容量并非越大越好。首先给出电容阻抗计算公式：

$$X_C = \frac{1}{\omega C}$$

电容两端电压 U 一定时，易知 X_C 越大，电容支路分流越少。记这部分分流为 I_C 。

分析可知，当 $I_C < I_L$ 时，增大电容会导致 X_C 减小，从而导致 I_C 增大， I 的虚部数值部分减小，使得功率因数 λ 增大。

而当 $I_C > I_L$ 时，增大电容会导致 X_C 减小，从而导致 I_C 增大，此时 I 的虚部数值部分反而会反向增大，使得功率因数 λ 减小。

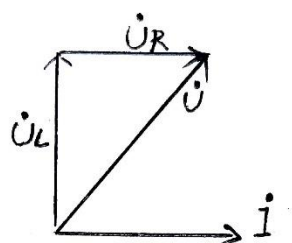
因此，电容 C 并非越大越好，过大的电容可能导致功率因数减小。

(2) 通过实验分析电感线圈中插入铁棒，电感值会有怎样变化？

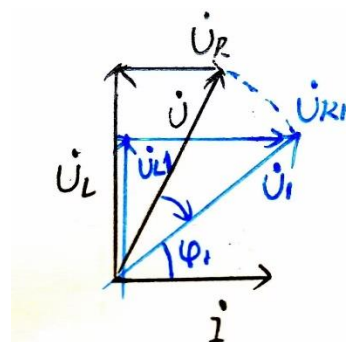
电感线圈中插入铁棒后，电感值增大。

(3) 使用矢量图分析 Z_1 中串联的电阻阻值变化对功率因数的影响。

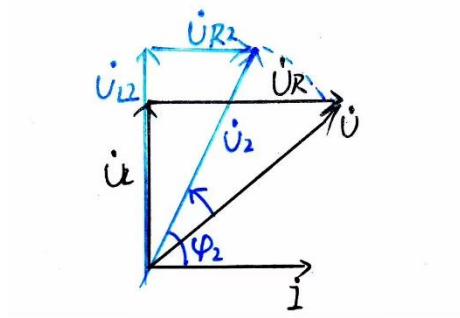
同上文的分析。需要明确的是，串联阻值的阻值增减，与总电路的电路阻值增减是等效的。因此，以干路电流为参考相量，原电压电流相量关系如图：



图中， \dot{U} 为输入电压相量， I 为电流相量，功率角为 φ 。 \dot{U}_R 为电阻分压相量， \dot{U}_L 为电感分压相量，二者相互垂直，相量合成为 \dot{U} 。串联电阻阻值增大后，总阻值增大，其分压 \dot{U}_R 增大为 \dot{U}_{R1} 。此时的输入电压相量记为 \dot{U}_1 ，其模应与原输入电压相量 \dot{U} 相同，据此作图如下：



同理，串联阻值减小后，总阻值减小，其分压 \dot{U}_R 减小为 \dot{U}_{R2} 。此时的输入电压相量记为 \dot{U}_2 ，其模应与原输入电压相量 \dot{U} 相同，据此作图如下：



因此，串联阻值增大，功率因数增大；串联阻值减小，功率因数减小。

五、参考资料（预习、实验中参考阅读的资料）

1. 电路教学计划 2023